

# Biometrieergebnisse von 23.239 Augen

P. C. Hoffmann

## Zusammenfassung

Mit dem Zeiss IOLMaster wurden Achsenlänge, Hornhautkrümmungsradien, Vorderkammertiefe und horizontaler Hornhautdurchmesser (WZW) optisch vermessen. Wir haben die Daten von 23.239 Augen bei 15.448 Patienten, die zwischen 2000 und 2006 gemessen wurden, statistisch ausgewertet. Die Achsenlänge betrug im Median 23,23 (16,47 bis 39,77) mm, die Hornhautbrechkraft (Index 1,332) 43,13 (35,2 bis 53,7) dpt, die Vorderkammertiefe 3,10 (1,74 bis 4,97) mm und der Hornhautdurchmesser 11,82 (10,14 bis 13,79) mm. Die Vorderkammertiefe ist mit dem Lebensalter negativ korreliert ( $r = -0,283$ ). Besonderes Augenmerk gilt dem kornealen Astigmatismus. 2,6 % aller Augen haben einen kornealen Astigmatismus  $\geq 3$  dpt. 46,8 % haben einen „Astigmatismus mit der Regel“, 34,4 % „gegen die Regel“, 18,9 % schräg.

## Summary

We measured axial length, corneal radii, anterior chamber depth and horizontal corneal diameter (WTW) with the Zeiss IOLMaster. We analyzed the data sets of 23239 eyes of 15488 patients that were measured between 2000 and 2006. Median axial length was 23.23 (16.47–39.77) mm, corneal power (index 1.332) 43.13 (35.2–53.7) D, anterior chamber depth 3.10 (1.74–4.97) mm and WTW 11.82 (10.14–13.79). Anterior chamber depth has a negative correlation with patient age ( $r = -0.283$ ). Corneal astigmatism was looked at closely. 2.6 % of all eyes have a corneal astigmatism of  $\geq 3$  D. 46.8 % have astigmatism “with the rule”, 34.4 % “against the rule”, 18.9 % oblique.

## Einleitung

Wir haben unsere im Zeitraum von 2000 bis 2006 mit dem Zeiss IOLMaster durchgeführten Biometrien ausgewertet, um statistische Aussagen über die gemessenen Parameter und deren Zusammenhänge treffen zu können.

## Patienten und Methoden

Wir untersuchten 23.239 Augen von 15.448 Patienten. Alle Messungen erfolgten mit dem IOLMaster, bei 15.812 Augen mit der Software V3 inklusive Messung des horizontalen Hornhautdurchmessers. Die Patienten waren zum Messzeitpunkt  $72,8 \pm 10,0$  (Median 74) Jahre alt.

## Ergebnisse

### Daten

Die optische gemessene Achsenlänge betrug  $23,43 \pm 1,51$  (Median 23,23) mm (Abb. 1). Der Hornhautdurchmesser (Weiß-zu-Weiß) wurde mit  $11,82 \pm 0,40$  mm gemessen (Abb. 2). Der mittlere Hornhautradius war  $7,69 \pm 0,28$  mm, die Hornhautbrechkraft (Index 1,332)  $43,14 \pm 1,50$  dpt (Abb. 3). Es besteht eine hochsignifikante negative Korrelation mit dem Lebensalter ( $r = -0,104$ ,  $P < 0,001$ ). Die Vorderkammertiefe wie vom IOLMaster angegeben (Hornhautepithel – Linse) lag im Mittel bei  $3,11 \pm 0,43$  mm (Abb. 4).

Die emmetropisierende IOL wurde der Einfachheit halber nach SRK/T [1] ( $A = 119,2$ ) mit  $+21,3 \pm 4,4$  dpt (Median 21,8) berechnet (Abb. 5). Der übliche Lieferbereich der IOL-Fabrikate ist +10 bis +30 dpt, in diesem Intervall befinden sich 97 % aller emmetropisierenden IOLs. 0,9 % sind über 30 dpt, 2,4 % unter 10 dpt. Die Häufigkeitsverteilung des Hornhautastigmatismus zeigt die Tabelle 5. Etwa 2/3 aller Augen haben einen kornealen Astigmatismus  $< 1$  dpt, immerhin ca. 8 %  $\geq 2$  dpt, ca. 2 %  $\geq 3$  dpt.

Für die Kataraktchirurgie interessant ist noch die Verteilung der Achslagen. 46,8 % aller Augen haben einen Astigmatismus „mit der Regel“ (Astigmatismus rectus, Achse des korrigierenden Minuszylinders in  $180^\circ \pm 30^\circ$ ), 34,3 % „gegen die Regel“ (Astigmatismus inversus, Achse des korrigierenden Minuszylinders in  $90^\circ \pm 30^\circ$ ), 18,9 % schräg. Deutlich anders wird die Verteilung, wenn nur die höheren Zylinderwerte ( $\geq 2$  dpt) betrachtet werden. Hier sind 64,7 % „mit der Regel“, 24,4 % „gegen die Regel“ und 10,8 % schräg.

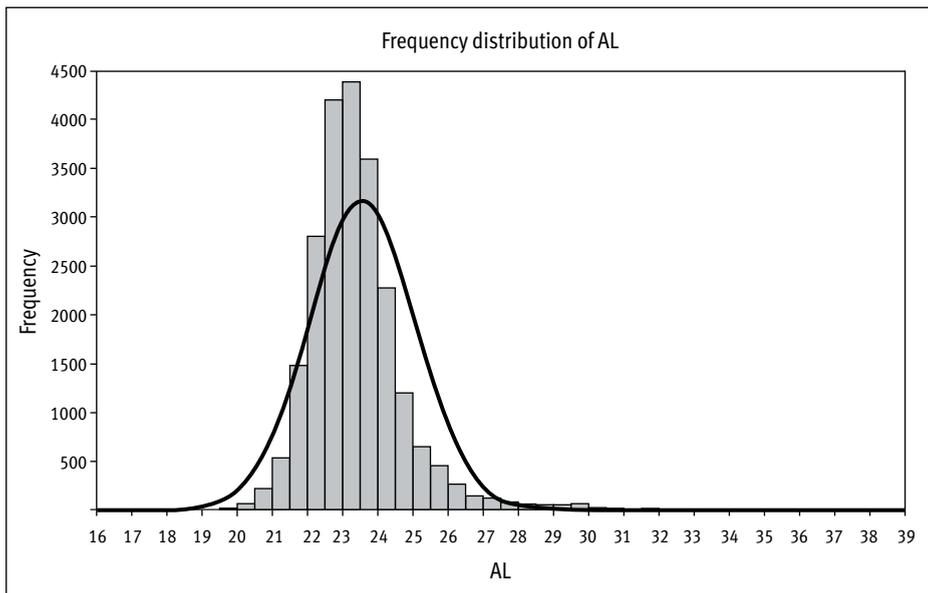
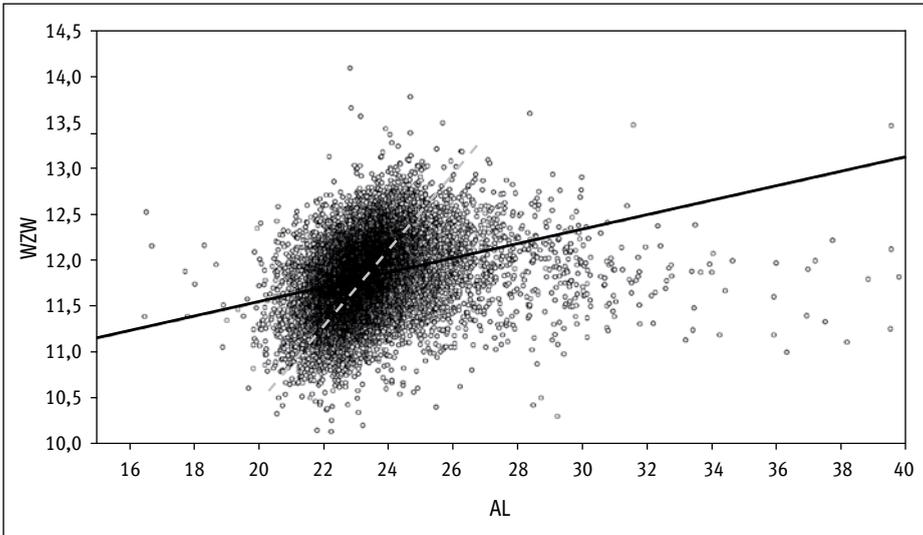
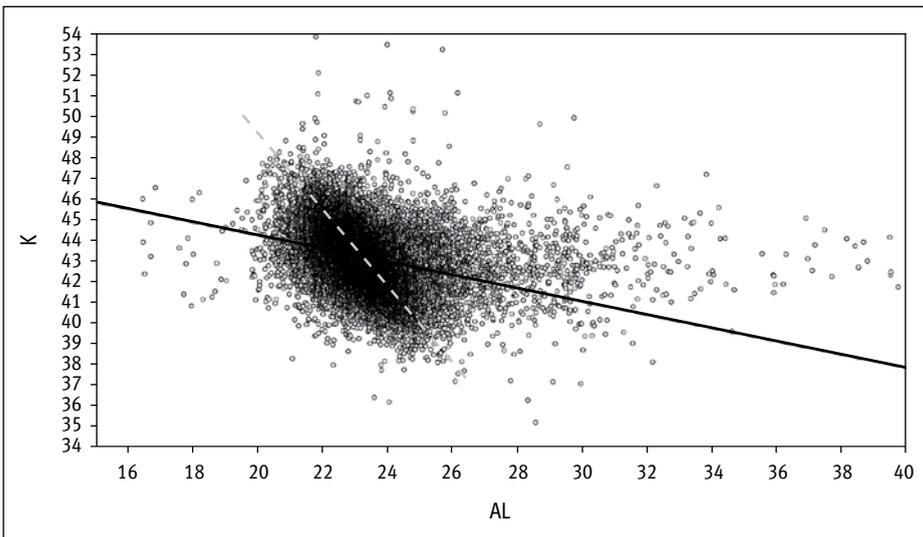


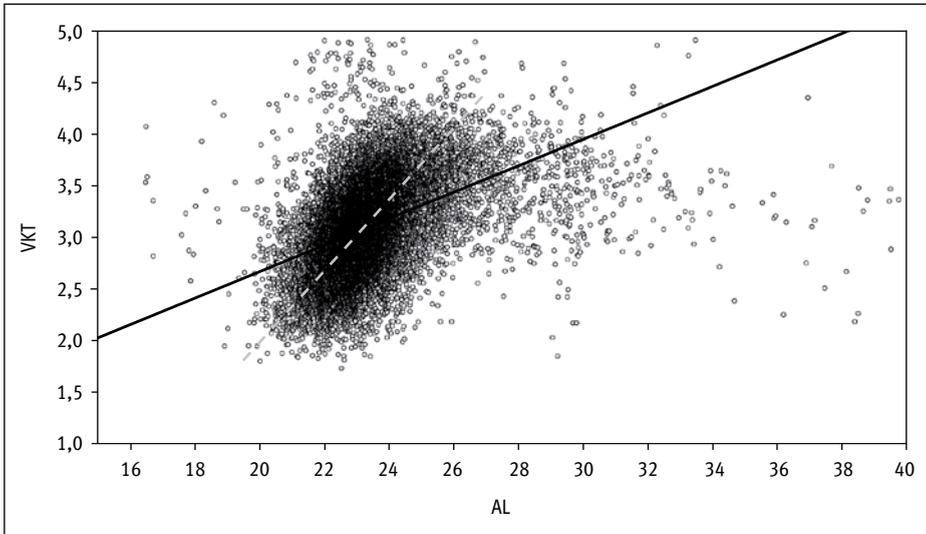
Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der optisch gemessenen Achsenlänge. Die Verteilung ist deutlich rechtsschief.



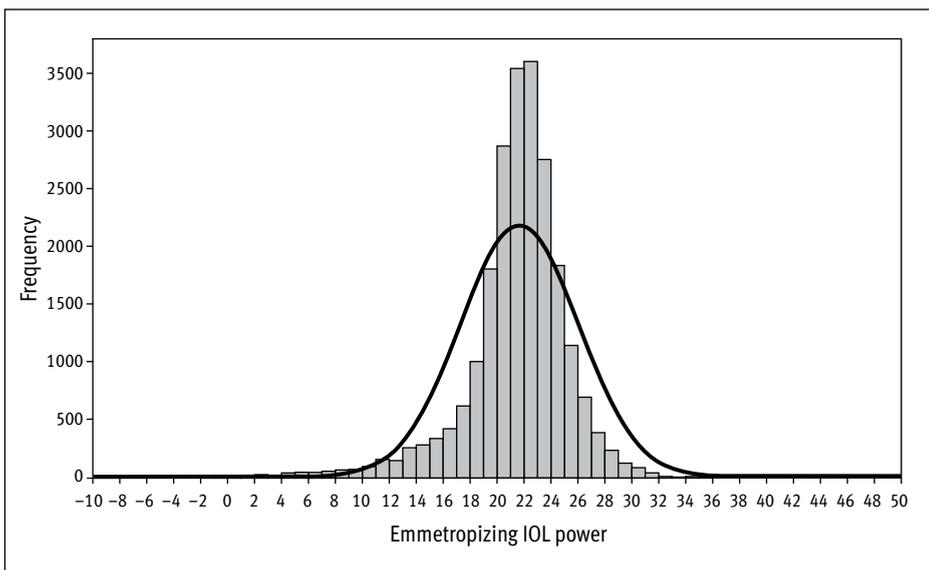
**Abb. 2:** Horizontaler Hornhautdurchmesser (WZW) als Anhalt für die Dimensionen des Vordersegmentes über der Achsenlänge bei 15.812 Augen. Die schwarze Linie ist die Regressionsgerade für alle Augen, die gestrichelte graue nur für die mittleren Achslängen. Es ist gut zu erkennen, dass bei sehr kurzen und sehr langen Augen keinerlei Zusammenhang mit der Achslänge mehr vorhanden ist.



**Abb. 3:** Hornhautbrechkraft über der Achsenlänge. Die schwarze Linie ist die Regressionsgerade für alle Augen, die gestrichelte graue nur für die mittleren Achslängen. Ähnlich wie beim Hornhautdurchmesser ist bei extrem langen und extrem kurzen Augen keinerlei Zusammenhang mit der Achslänge mehr vorhanden.



**Abb. 4:** Präoperative Vorderkammertiefe (wie vom IOLMaster ausgewiesen, d. h. Hornhautepithel bis Linse) über der Achsenlänge. Die schwarze Linie ist die Regressionsgerade für alle Augen, die gestrichelte graue nur für die mittleren Achslängen. Ähnlich wie beim WZW und bei HH-Radien ist bei extrem langen und extrem kurzen Augen keinerlei Zusammenhang mit der Achslänge mehr vorhanden.



**Abb. 5:** Theoretisch emmetropisierende IOL, berechnet nach SRK/T mit  $A = 19,2$ . Die Werte zwischen  $+21,0$  und  $+23,0$  sind am häufigsten. Wegen der großen Variabilität der pathologischen Myopie ist die Verteilung deutlich linksschief.

**Zusammenhänge**

Achsenlänge, Hornhautbrechkraft, Vorderkammertiefe und Hornhautdurchmesser sind alle untereinander hochsignifikant ( $P < 0,001$ ) korreliert. Die Vorderkammertiefe korreliert hochsignifikant negativ mit dem Lebensalter ( $r = -0,283$ ). Die Korrelationsmatrix findet sich in Tabelle 1. Generell kann man sagen, dass mit größerer Achsenlänge die Vorderkammertiefe und der Hornhautdurchmesser zu- und die Hornhautbrechkraft abnehmen. Bei sehr kurzen (5. Perzentile der Achslänge) und sehr langen Augen (95. Perzentile der Achslänge) gilt dies aber nicht. Es sind entweder gar keine Zusammenhänge mehr vorhanden oder zuvor positive Korrelationen wurden schwach negativ. Die Tabellen 2 und 3 zeigen die entsprechenden Werte für die Gruppe der kurzen und der langen Augen.

Bei den „normalen“ Augen sind die Korrelationen noch deutlich stärker (Tab. 4). Der Betrag des Hornhautastigmatismus zeigt keine Altersabhängigkeit, dessen Achslage allerdings eine sehr deutliche. Die Häufigkeit des Astigmatismus inversus steigt mit dem Alter (t-Test,  $P < 0,001$ ). Sin(Achse) ist bei rechten Augen mit  $r = 0,239$  und bei linken Augen mit  $r = 0,232$  (jeweils  $P < 0,001$ ) mit dem Lebensalter korreliert. Der Astigmatismusbetrag ist bei kurzen Augen negativ, bei langen Augen positiv mit der Hornhautbrechkraft korreliert (Tab. 2 und 3).

alle Augen n = 15.812	AL	VKT	WZW	K	Δ K
AL		0,324***	0,294***	-0,325***	0,024***
VKT	0,324***		0,292***	-0,035***	-0,034***
WZW	0,294***	0,292***		-0,471***	-0,050***
K	-0,325***	-0,035***	-0,471***		0,083***
Δ K	0,024***	-0,034***	-0,050***	0,083***	

Tab. 1: Pearson-Korrelationsmatrix der einzelnen Messwerte. \* $P < 0,05$ , \*\* $P < 0,01$ , \*\*\* $P < 0,001$

AL ≤ 21,63 mm n = 1.107	AL	VKT	WZW	K	Δ K
AL		-0,038	0,000	0,037	-0,034
VKT	-0,038		0,201***	-0,231	0,025
WZW	0,000	0,201***		-0,439***	0,041
K	0,037	-0,023	-0,439***		-0,160***
Δ K	-0,034	0,025	0,041	-0,160***	

Tab. 2: Pearson-Korrelationsmatrix der einzelnen Messwerte bei kurzen Augen. \* $P < 0,05$ , \*\* $P < 0,01$ , \*\*\* $P < 0,001$

<b>AL <math>\geq</math> 25,84 mm</b> <b>n = 1.152</b>	<b>AL</b>	<b>VKT</b>	<b>WZW</b>	<b>K</b>	<b><math>\Delta</math> K</b>
<b>AL</b>		-0,093**	-0,145***	0,072*	0,023
<b>VKT</b>	-0,093**		0,226***	0,003	-0,021
<b>WZW</b>	-0,145***	0,226***		-0,483***	-0,056
<b>K</b>	0,072*	0,003	-0,482***		0,185***
<b><math>\Delta</math> K</b>	0,023	-0,021	-0,056	0,185***	

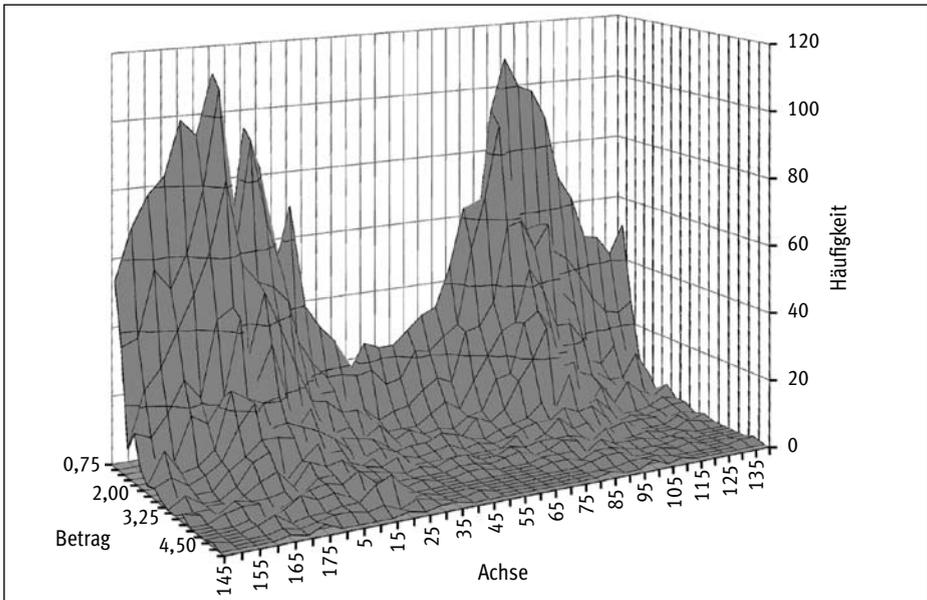
**Tab. 3:** Pearson-Korrelationsmatrix der einzelnen Messwerte bei langen Augen. \*P < 0,05, \*\*P < 0,01, \*\*\*P < 0,001

<b>21,63 &lt; AL &lt; 25,84 mm</b> <b>n = 20.980</b>	<b>AL</b>	<b>VKT</b>	<b>WZW</b>	<b>K</b>	<b><math>\Delta</math> K</b>
<b>AL</b>		0,345***	0,355***	-0,429***	0,005
<b>VKT</b>	0,345***		0,262***	0,012	-0,036***
<b>WZW</b>	0,355***	0,262***		-0,447***	-0,054***
<b>K</b>	-0,429***	0,012	-0,447***		0,083***
<b><math>\Delta</math> K</b>	0,005	-0,036***	-0,054	0,083***	

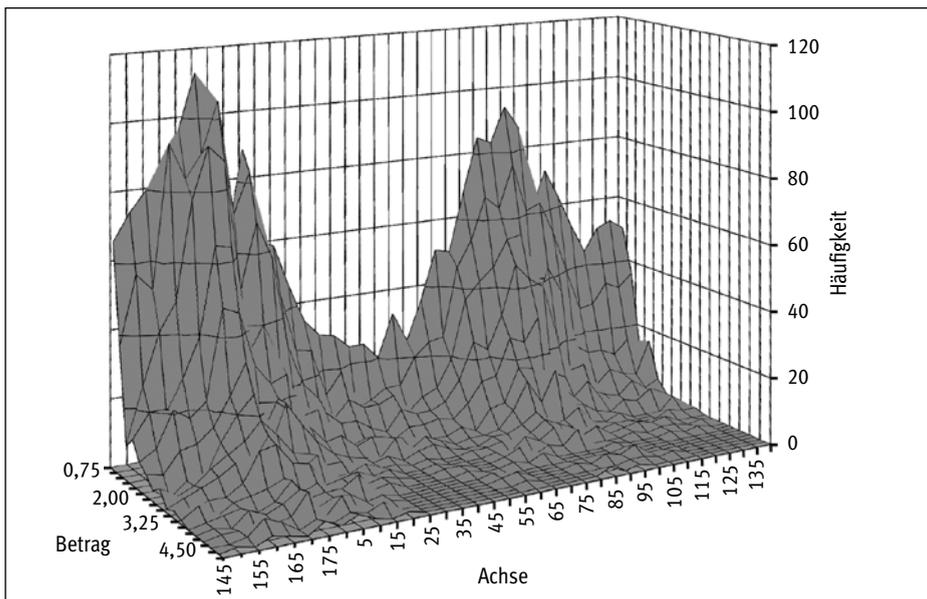
**Tab. 4:** Pearson-Korrelationsmatrix der einzelnen Messwerte bei „normalen“ Augen. \*P < 0,05, \*\*P < 0,01, \*\*\*P < 0,001

<b>Astigmatismusbetrag</b>	<b>&lt; 1,0</b>	<b><math>\geq</math> 1,0 &lt; 2,0</b>	<b><math>\geq</math> 2,0 &lt; 3,0</b>	<b><math>\geq</math> 3,0 &lt; 4,0</b>	<b><math>\geq</math> 4,0 &lt; 5,0</b>	<b><math>\geq</math> 5,0 &lt; 6,0</b>	<b><math>\geq</math> 6,0</b>
<b>Korneal</b>	63,96 %	27,95 %	5,44 %	1,66 %	0,56 %	0,25 %	0,18 %
<b>Refraktometrisch</b>	67,97 %	22,55 %	6,09 %	2,18 %	0,80 %	0,28 %	0,13 %

**Tab. 5:** Kornealer Astigmatismus (n = 23.239) und Gesamtastigmatismus (n = 78.205)



**Abb. 6:** Alle Hornhautastigmatismen bei rechten Augen ab 0,75 dpt ( $n = 6.927$ ) als „Gebirge“ nach Betrag und Achslage. Es ist gut zu sehen, dass bei kleinen Beträgen bis ca. 1 dpt „mit der Regel“ und „gegen die Regel“ annähernd gleich häufig sind, während bei höheren Beträgen (das „Vorgebirge“) die Achslagen um  $0^\circ$  („mit der Regel“) stark überwiegen.



**Abb. 7:** Alle Hornhautastigmatismen bei linken Augen ab 0,75 dpt ( $n = 7.352$ ) als „Gebirge“ nach Betrag und Achslage. Es zeigt sich grundsätzlich ein ähnliches Bild wie bei den rechten Augen.

## Diskussion

Biometriedaten in diesem Umfang sind nach unserem Wissen bisher nicht veröffentlicht. Eine wirklich umfassende Statistik lieferte zuletzt Hoffer im Jahre 1980 [2], weswegen eine modernere Referenz notwendig erscheint. Unsere Daten sind durchgängig mit dem Zeiss IOLMaster gemessen. Unsere Augen sind im Mittel und Median kürzer als solche US-amerikanischer Autoren [2], insbesondere, wenn man bedenkt, dass die oftmals mit Kontaktultraschall gemessenen Werte kürzer ausfallen als unsere optisch gemessenen. Es ist dabei auch noch zu berücksichtigen, dass die optisch gemessene Wegstrecke im IOLMaster intern umgeformt wird, um eine Vergleichbarkeit mit dem Referenz-Immersionultraschall (Grieshaber Biometric System) herzustellen [3]. Bei kurzen Augen ist die angegebene Achslänge etwas kürzer, bei langen Augen etwas länger als gemessen. Auch im Vergleich zu den Referenzdaten aus Würzburg [3] sind unsere Augen etwas kürzer und die Vorderkammern etwas flacher. Dies hat sicherlich regionale Ursachen, denn die Kalibrierung der Geräte untereinander ist sehr gut [4]. Die mittleren Hornhautradien sind mit den Würzburger Daten deckungsgleich, ebenso mit denen von Hoffer [2].

Anhand unserer Daten ist ersichtlich, dass die statistischen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Messwerten bei extremen Achslängen aufgelöst oder sogar umgekehrt werden. Dies ist von großer Wichtigkeit beispielsweise für die IOL-Berechnung, da oft bestimmte Parameter wie der mittlere Hornhautradius als Parameter für die Prädiktion der postoperativen Vorderkammertiefe herangezogen wird. Regressionsmodelle, die aus „normalen“ Augen gewonnen wurden, müssen keineswegs für besonders kurze oder lange Augen zutreffend sein. Vielmehr kann die Anatomie des Vordersegmentes völlig disparat von der des Hintersegmentes sein.

Umfassende Daten zum kornealen Astigmatismus sind in der Literatur schwer zu finden; fast alle Studien beziehen sich auf Refraktionswerte. Für die Kataraktchirurgie ist es interessant zu wissen, wie die Prävalenz des kornealen Astigmatismus in der typischen Bevölkerungsgruppe überhaupt ist. Die etwa 8 % aller Kataraktaugen mit Hornhautastigmatismus  $\geq 2$  dpt sind potenzielle Kandidaten für eine torische IOL. Hohe Astigmatismen sind in unserer Bevölkerung relativ selten, doch haben immerhin 2,2 % aller Augen Keratometerwerte  $\geq 3$  dpt. Nach Lieferdaten von Gleitsichtgläsern ( $n = 113.067$ ) sind bei Brillenverschreibungen Astigmatismen  $\geq 2$  dpt in 9,5 % aller Augen präsent,  $\geq 3$  dpt in 3,4 %.

Dieselben Untersuchungen haben ergeben, dass der Astigmatismus „mit der Regel“ bei presbyopen Patienten heute eher die Ausnahme ist. Bei Refraktionswerten dieser Patienten zeigt sich ein Astigmatismus „mit der Regel“ nach oben genannter Definition in 40,6 % der Fälle, ein Astigmatismus „gegen die Regel“ in 44,9 % (Rest: schräge Achsen). Dies haben auch andere Arbeiten gezeigt [5]. Unter Berücksichtigung der Javal-Regel stimmt dies gut mit den IOLMaster-Daten überein. Die allgemein beliebten temporalen Inzisionen liegen nach unseren Daten in 47 % der Fälle in der Nähe des flachsten Meridians, wirken also potenziell astigmatismusverstärkend, und nur in 34 % aller Augen günstig in der Nähe des steilsten Meridians.

Die natürliche Linse, die oft einen leichten Astigmatismus – im Mittel 0,6 dpt – mit Minuszylinderachse in etwa  $90^\circ$  zeigt, welcher den Hornhautastigmatismus in Achse  $180^\circ$  abschwächt oder neutralisiert (Javal-Regel), verstärkt ihren Astigmatismus häufig mit steigendem Lebensalter; in der Folge wird der Astigmatismus inversus mit zunehmendem Alter häufiger [6–9]. Zusätzlich wird auch durch Veränderungen in der Kornea selbst die Zylinderachse mit zunehmendem Alter tendenziell in Richtung  $90^\circ$  drehen [10]. Dies konnten wir durch unsere Untersuchung bestätigen, es besteht ein hochsignifikanter Zusammenhang der Achslage des Hornhautastigmatismus mit dem Alter. Bei langen Augen ist der höhere Astigmatismus hochsignifikant mit steileren Hornhäuten assoziiert, bei kurzen Augen dagegen mit flacheren Hornhäuten. Dieser Zusammenhang ist unseres Wissens bisher nicht beschrieben worden.

Ist die natürliche Linse operativ entfernt, wird der Gesamtastigmatismus fast nur noch durch die Hornhaut bestimmt, ebenso bei fast allen Gesamtastigmatismen  $\geq 3$  dpt. Höhere natürliche Astigmatismen sind ganz überwiegend in Achslagen um  $180^\circ$  („mit der Regel“) zu finden. In unseren Refraktionsdaten findet sich bei Gesamtastigmatismus  $\geq 2$  dpt der Astigmatismus rectus nach oben genannter Definition in 61,9 % und der Astigmatismus inversus in 28,8 % (Rest: schräge Achsen). Dies ist fast völlig deckungsgleich mit den IOLMaster-Daten.

## Fazit

Es wird ein Überblick über aktuelle Biometrieergebnisse eines viel operierenden Zentrums gegeben. Die letzte umfassende veröffentlichte Statistik zu diesem Thema ist datiert aus dem Jahr 1980 [2], weswegen eine modernere Referenz notwendig erscheint. Unsere Daten sind durchgängig mit dem Zeiss IOLMaster gemessen und mit  $n = 23.239$  umfangreich und aussagekräftig. Die Zusammenhänge der einzelnen gemessenen Parameter sind wichtig für die Berechnung von IOL und die Überprüfung gewisser Modellannahmen zur Bestimmung der postoperativen Vorderkammertiefe. Die Daten zum kornealen Astigmatismus sind von Bedeutung für Hersteller und Anwender torischer Linsen und in diesem Umfang bisher ebenfalls nicht publiziert.

*(Dieser Beitrag wurde bereits im Rahmen des DGII-Kongresses 2008 gehalten.)*

## Literatur

1. RETZLAFF JA, SANDERS DR, KRAFF MC: Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. J Cataract Refract Surg 1990;16:333–340
2. HOFFER KJ: Biometry of 7500 cataractous eyes. Am J Ophthalmol 1980;90:360–368
3. HAIGIS W, LEGE B: Akustische und optische Biometrie im klinischen Einsatz. In: Wenzel M, Kohlen T, Blumer B (Hrsg.): 14. Kongress der DGII. Köln: Biermann Verlag 2001;73–78
4. PREUßNER PR, OLSEN T, HOFFMANN PC, FINDL O: IOL Calculation Accuracy Limits in Normal Eyes. J Cataract Refract Surg 2008;34:802–808

5. GUDMUNDSDOTTIR E, JONASSON F, JONSSON V ET AL.: "With the rule" astigmatism is not the rule in the elderly. Reykjavik Eye Study: a population based study of refraction and visual acuity in citizens of Reykjavik 50 years and older. Iceland-Japan Co-Working Study Groups. *Acta Ophthalmol Scand* 2000;78:642–646
6. ANSTICE J: Astigmatism – its components and their changes with age. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1971;48:1001–1006
7. AUGER P: Confirmation of the simplified Javal's rule. *Am J Optom Physiol Opt* 1988;65:915
8. BRÜCKNER A: Optische Constanten (Elemente), Refraktion, Akkomodation. In: Fischer FP, Friedenwald JS, Steindorff K et al. (eds.): *Tabulae biologicae*. 's-Gravenhage: Uitgeverij Dr. W. Junk 1963:155–172
9. DIEPES H: Die Fehlsichtigkeiten. In: Diepes H (Hrsg.): *Refraktionsbestimmung*. Pforzheim: Heinz Postenrieder 1975:56–67
10. HAYASHI K, HAYASHI H, HAYASHI F: Topographic analysis of the changes in corneal shape due to aging. *Cornea* 1995;14:527–532